

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-060211

(43)Date of publication of application : 28.02.2003

(51)Int.Cl.

H01L 29/82  
H01F 10/32  
H01L 43/00

(21)Application number : 2001-257373

(71)Applicant : HOKKAIDO UNIV

(22)Date of filing : 28.08.2001

(72)Inventor : MUKASA KOICHI  
YO KANJI  
SUEOKA KAZUHISA  
ONO HIROSHI

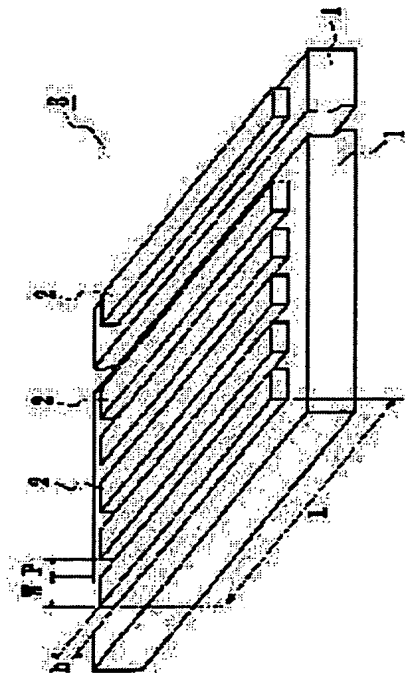
(30)Priority

Priority number : 2001170707 Priority date : 06.06.2001 Priority country : JP

## (54) SPIN DEVICE AND MANUFACTURING METHOD THEREFOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a new spin device which can also be put into practical use.

SOLUTION: A semiconductor substrate 1 is formed of a III-V compound semiconductor such as InAs, and ferromagnetic fine wires 2 of ferromagnetic transition metal such as Fe, preferably each being 0.2 to 3  $\mu\text{m}$  in width, 1 to 4,000  $\mu\text{m}$  in length, and 10 to 100 nm in height, are formed on the semiconductor substrate 1. Uniaxial magnetic anisotropy is made to be induced in the ferromagnetic fine wires 2.

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 28.08.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 19.04.2005

[Kind of final disposal of application other than the  
examiner's decision of rejection or application converted  
registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2005-09416

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 19.05.2005

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

\* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

---

[Claim(s)]

- [Claim 1] The spin device characterized by having a semi-conductor substrate and the ferromagnetic thin line which was formed on this semi-conductor substrate, and which has the magnetic anisotropy of one shaft.
- [Claim 2] Said ferromagnetic thin line is a spin device according to claim 1 characterized by presenting single domain structure.
- [Claim 3] Said semi-conductor substrate and said ferromagnetic thin line are a spin device according to claim 1 or 2 characterized by forming ohmic contact.
- [Claim 4] Said semi-conductor substrate is a spin device according to claim 1 to 3 characterized by consisting of groups III-V semiconductor.
- [Claim 5] Said semi-conductor substrate is a spin device according to claim 4 characterized by consisting of InAs(es).
- [Claim 6] Said ferromagnetic thin line is a spin device according to claim 1 to 5 characterized by consisting of ferromagnetic transition metals.
- [Claim 7] The spin device according to claim 4 to 6 characterized by the width of face of said ferromagnetic thin line being 0.2-3 micrometers.
- [Claim 8] The spin device according to claim 7 characterized by the die length of said ferromagnetic thin line being 1-4000 micrometers.
- [Claim 9] The spin device according to claim 7 or 8 characterized by the height of said ferromagnetic thin line being 10-100nm.
- [Claim 10] The spin device according to claim 7 to 9 characterized by the pitch between said two or more ferromagnetic thin lines being 0.4-6 micrometers while having said two or more ferromagnetic thin lines.
- [Claim 11] The spin device according to claim 1 to 10 characterized by having a cap layer on said ferromagnetic thin line.
- [Claim 12] The manufacture approach of the spin device which is the manufacture approach of a spin device equipped with a semi-conductor substrate and the ferromagnetic thin line which was formed on this semi-conductor substrate, and which has the magnetic anisotropy of one shaft, and is characterized by forming said ferromagnetic thin line from said ferromagnetic thin film by forming a ferromagnetic thin film through this mask pattern, and carrying out lift off of said mask pattern after forming a predetermined mask pattern on said semi-conductor substrate.
- [Claim 13] The manufacture approach of the spin device which is the manufacture approach of a spin device equipped with a semi-conductor substrate and the ferromagnetic thin line which was formed on this semi-conductor substrate, and which has the magnetic anisotropy of one shaft, and is characterized by to form said ferromagnetic thin line from said ferromagnetic thin film by forming a predetermined mask pattern on this ferromagnetic thin film, and carrying out milling processing of said ferromagnetic thin film through this mask pattern after forming a ferromagnetic thin film uniformly on said semi-conductor substrate.
- [Claim 14] Said ferromagnetic thin film is the manufacture approach of the spin device according to claim 12 or 13 characterized by forming using the MBE method.

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

## [Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the spin device which can be used it is detailed and suitable for a spin memory device, a spin transistor, a magnetometric sensor, an optical isolator, etc., and its manufacture approach about a spin device and its manufacture approach.

[0002]

[Description of the Prior Art] New spin devices, such as a spin transistor and a spin memory device, are proposed. This spin device is presenting fundamentally the structure where the ferromagnetic thin film was formed on the semi-conductor substrate, pours in the electron which carried out spin polarization from said ferromagnetic thin film to said semi-conductor substrate, and performs storage or magnification using that spin state.

[0003] Although various reports were made about the spin device mentioned above now, the ferromagnetic thin film which has a uniform magnetization magnetic domain was not able to be obtained. Consequently, in fact, the electron which carried out spin polarization into the semi-conductor substrate could not be poured in, and the spin device with which practical use can be presented was not able to be obtained.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] This invention aims at offering the new spin device with which practical use can be presented.

[0005]

[Means for Solving the Problem] This invention relates to the spin device characterized by having a semi-conductor substrate and the ferromagnetic thin line which was formed on this semi-conductor substrate, and which has the magnetic anisotropy of one shaft that the above-mentioned purpose should be attained.

[0006] Moreover, this invention is the manufacture approach of a spin device equipped with a semi-conductor substrate and the ferromagnetic thin line which was formed on this semi-conductor substrate and which has the magnetic anisotropy of one shaft. By forming a ferromagnetic thin film through this mask pattern, and carrying out lift off of said mask pattern, after forming a predetermined mask pattern on said semi-conductor substrate It is related with the manufacture approach (the 1st manufacture approach) of the spin device characterized by forming said ferromagnetic thin line from said ferromagnetic thin film.

[0007] Furthermore, this invention was formed on a semi-conductor substrate and this semi-conductor substrate. It is the manufacture approach of a spin device equipped with the ferromagnetic thin line which has the magnetic anisotropy of one shaft. By forming a predetermined mask pattern on this ferromagnetic thin film, and carrying out milling processing of said ferromagnetic thin film through this mask pattern, after forming a ferromagnetic thin film uniformly on said semi-conductor substrate It is related with the manufacture approach (the 2nd manufacture approach) of the spin device characterized by forming said ferromagnetic thin line from said ferromagnetic thin film.

[0008] this invention persons inquired wholeheartedly so that they may get the new spin device with which practical use can be presented. Consequently, said ferromagnetic thin line found out coming to have the magnetic anisotropy of one shaft by forming a ferromagnetic thin line on a semi-conductor substrate at predetermined magnitude according to not a ferromagnetic thin film like before but the 1st manufacture approach of this invention mentioned above, or the 2nd manufacture approach.

[0009] Therefore, offer of the spin device with which can actually pour in now the electron from said ferromagnetic thin line to said semi-conductor substrate which carried out spin polarization, consequently practical use can be presented is enabled.

[0010]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, this invention is explained to a detail based on the gestalt of implementation of invention. Drawing 1 is the perspective view showing the configuration of the spin device of this invention roughly. In addition, that explanation should be made easy, the dimension of each part, the number of ferromagnetic thin lines, etc. are indicated, as it differed from the actual thing.

[0011] The spin device 3 shown in drawing 1 consists of a semi-conductor substrate 1 and two or more ferromagnetic thin lines 2 formed on this semi-conductor substrate 1. This ferromagnetic thin line 2 needs to have uniaxial anisotropy so that it may perform electron injection which carried out spin polarization to the semi-conductor substrate 1. Moreover, as for the ferromagnetic thin line 2, it is desirable to have single domain structure that the electron which carried out spin polarization more regularly should be poured in.

[0012] Moreover, as for the semi-conductor substrate 1 and the ferromagnetic thin line 2, it is desirable to form ohmic contact in those contact surfaces. If a semi-conductor metallurgy group etc. generally contacts and joins together, the association will turn into shot key association, and the Schottky barrier will come to produce it in both interface. When such the Schottky barrier is formed, the ferromagnetic thin line which has the magnetic anisotropy of one shaft even if is formed on a semi-conductor substrate, and even if it suits the condition that the electron which carried out spin polarization can be poured in, it is because the electron injection to said semi-conductor substrate may become difficult with said Schottky barrier.

[0013] As long as it has a property which the spin device of this invention mentioned above, especially the class of ingredient which constitutes the semi-conductor substrate 1 and the ferromagnetic thin line 2 is not limited. However, as for the semi-conductor substrate 1, it is desirable to consist of groups III-V semiconductor.

[0014] the desirable voice of the manufacture approach of this invention described below to up to the semi-conductor substrate 1 which consists of such groups III-V semiconductor -- the ferromagnetic thin film which follows like and constitutes the ferromagnetic thin line 2 -- MBE -- epitaxial growth can be simply carried out by law. Therefore, formation of the energy level resulting from an impurity, grid mismatching, etc. in an interface of the semi-conductor substrate 1 and the ferromagnetic thin line 2 can be prevented,

and electron injection from the ferromagnetic thin line 2 to the semi-conductor substrate 1 can be performed more simply.

[0015] Moreover, since it has a big spin orbit interaction, when a group III-V semiconductor pours in the electron which carried out spin polarization, he can control the spin polarization condition of said electron good, and can maintain it. Furthermore, since the tunnel effect through said Schottky barrier arises when the Schottky barrier is formed between the semi-conductor substrate 1 and the ferromagnetic thin line 2, as mentioned above, electron injection from the ferromagnetic thin line 2 to the semi-conductor substrate 1 can be performed simply.

[0016] GaAs, InAs, and InGaAs can be illustrated as such a group III-V semiconductor. Since formation of the energy level which originated in the excessive impurity especially in the interface with the ferromagnetic thin line 2 can be controlled, InAs is desirable.

[0017] Moreover, although the ferromagnetic thin line 2 can be constituted from various ferromagnetic materials, it is desirable preferably to constitute from ferromagnetic transition metals, such as Fe, Co, and nickel. Since these ingredients have big magnetization in a room temperature, they can contain so much the electron which carried out spin polarization, and can pour in so much the electron which carried out spin polarization into the semi-conductor substrate.

[0018] When it constitutes from a group III-V semiconductor who mentioned the semi-conductor substrate 1 above and constitutes from ferromagnetic transition metals which mentioned the ferromagnetic thin line 2 above, 0.2-3 micrometers of width of face W of the ferromagnetic thin line 2 are preferably formed in 0.5-2 micrometers. By this, the magnetic anisotropy of one shaft can be simply produced in ferromagnetic 2 thin line.

[0019] Moreover, when the width of face W of the ferromagnetic thin line 2 is set up as mentioned above, as for die-length L of a ferromagnetic thin line, it is desirable that it is 1-4000 micrometers, and it is desirable that it is further 2-20 micrometers. By this, the magnetic anisotropy of one shaft can be more simply formed into the ferromagnetic thin line 2.

[0020] Since it is the same, as for height h of the ferromagnetic thin line 2, it is desirable that it is 10-100nm, and it is desirable that it is further 30-50 micrometers.

[0021] When it constitutes from a group III-V semiconductor who mentioned the semi-conductor substrate 1 above and being constituted from ferromagnetic transition metals which mentioned the ferromagnetic thin line 2 above, while being able to make the ferromagnetic thin line 2 into single domain structure by adjusting suitably the formation conditions and magnitude of the ferromagnetic thin line 2, ohmic KONTAKU can be formed between the semi-conductor substrate 1 and the ferromagnetic thin line 2.

[0022] moreover, the interference from the adjoining ferromagnetic thin line 2 -- preventing -- the electron injection from the ferromagnetic thin line 2 -- efficiency -- oh, it is desirable that pitch P between the ferromagnetic thin lines 2 is 0.4-6 micrometers, and it is desirable that it is further 1-4 micrometers in order to close.

[0023] the spin device 3 shown in drawing 1 -- as a device -- efficiency -- oh, it has two or more ferromagnetic thin lines 2 in order to close. In this case, arbitration can be made to control the number of the ferromagnetic thin lines 2 according to the purpose. Moreover, a single ferromagnetic thin line can also be formed and constituted on the semi-conductor substrate 1.

[0024] Moreover, a cap layer can also be prepared on this ferromagnetic thin line 2 that oxidation of the ferromagnetic thin line 2 should be prevented. A cap layer can consist of Au(s) which have high corrosion resistance, for example.

[0025] Formation of the ferromagnetic thin line to a semi-conductor substrate is performed by [ as being the following ]. As the 1st manufacture approach, the technique of a photolithography is used on the semi-conductor substrate 1, and the mask pattern with which the pattern equivalent to the ferromagnetic thin line 2 which should be formed was formed is formed. Then, the ferromagnetic thin line 2 made into the purpose is obtained by forming a ferromagnetic thin film through said mask pattern, and carrying out lift off of said mask pattern.

[0026] As the 2nd manufacture approach, after forming a ferromagnetic thin film uniformly on the semi-conductor substrate 1, the mask pattern with which the technique of a photolithography was used and the pattern equivalent to the ferromagnetic thin line 2 which should be formed was formed on said ferromagnetic thin film is formed. Then, the ferromagnetic thin line 2 made into the purpose is obtained by performing milling processing using argon ion etc. and carrying out etching removal of the part which said ferromagnetic thin film exposed through said mask pattern.

[0027] the above -- also in which approach, it faces producing the ferromagnetic thin line 2, and the formation process of a ferromagnetic thin film is included as indispensable requirements. A ferromagnetic thin film can be formed using the well-known physical thin film formation approaches, such as the sputtering method and vacuum deposition. However, epitaxial growth is preferably carried out on said semi-conductor substrate using the MBE method.

[0028] In this case, since formation of the excessive energy level which originated in an impurity or grid mismatching between the semi-conductor substrate 1 and the ferromagnetic thin line 2 is controlled as mentioned above, electron injection from the ferromagnetic thin line 2 to the semi-conductor substrate 1 can be performed more efficiently. Moreover, since the MBE method is used in the state of an ultra-high vacuum, formation of the energy level resulting from an impurity etc. is controlled more effectively. In addition, a ferromagnetic thin film is formed in the height of the ferromagnetic thin line made into the purpose at the thickness of 10 in all-100nm.

[0029] Furthermore, after forming the ferromagnetic thin line mentioned above when a cap layer was prepared, as said ferromagnetic thin line is covered, said cap layer is formed using the well-known membrane formation approach.

[0030]

[Example] In this example, as shown in drawing 1, the spin device with which two or more ferromagnetic thin lines 2 were formed on the semi-conductor substrate 1 was produced. as the semi-conductor substrate 1 (100) -- an InAs substrate -- using -- this substrate top -- Fe thin film -- MBE -- it formed in 30nm in thickness by carrying out epitaxial growth at the temperature of 23 degrees C using law. In addition, the initial degree of vacuum at this time was  $3 \times 10^{-8}$  or less Pa, and the epitaxial growth rate was a part for 0.3nm/.

[0031] Subsequently, by using the technique of a photolithography, forming a predetermined mask pattern on said Fe thin film, and carrying out etching removal of the exposed part of said Fe thin film by milling processing using argon ion through this mask pattern, two or more Fe ferromagnetism thin lines 2 whose width of face W is 2 micrometers were formed so that a pitch P might be set to 4 micrometers. Subsequently, Au cap layer was formed in 3nm in thickness that oxidation of Fe ferromagnetism thin line 2 should be prevented.

[0032] Thus, when the magnetic properties of obtained Fe ferromagnetism thin line 2 were investigated, it became clear that it had an easy axis in <001> (longitudinal direction of Fe ferromagnetism thin line 2). In addition, the coercive force in the direction of an easy axis was about 100 Oe(s).

[0033] Moreover, when the electrical potential difference was impressed between Fe ferromagnetism thin line 2 and the InAs (100) substrate 1 and the IV property was investigated, along with the change in an electrical potential difference V, Current I was fluctuated-like proportionally and it was checked that electron injection which carried out spin polarization from Fe ferromagnetism thin line 2 to the InAs substrate 1 (100) is performed good. Moreover, since there was almost no measurement temperature dependence of IV property, it was checked between Fe ferromagnetism thin line 2 and the InAs (100) substrate 1 that good ohmic

contact is formed, without forming the Schottky barrier.

[0034] As mentioned above, although this invention has been explained to a detail based on the gestalt of implementation of invention, giving an example, unless it is not limited to the above-mentioned contents and deviates from the criteria of this invention, all deformation and modification are possible for this invention.

[0035]

[Effect of the Invention] As explained above, the spin device of this invention takes the completely new configuration of having the ferromagnetic thin line which has the magnetic anisotropy of one shaft on a semi-conductor substrate, and enables practical impregnation of an electron from said ferromagnetic thin line to the inside of said semi-conductor substrate which carried out spin polarization by this. Therefore, according to this invention, the spin device with which practical use of a spin memory device, a spin transistor, etc. can be presented can be offered.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the perspective view showing the configuration of the spin device of this invention roughly.

[Description of Notations]

- 1 Semi-conductor Substrate
  - 2 Ferromagnetic Thin Line
  - 3 Spin Device
- 

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

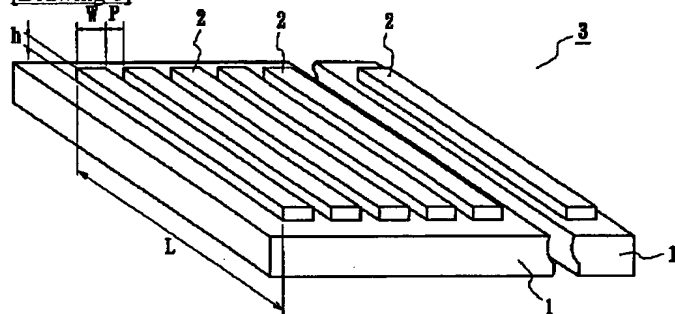
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

DRAWINGS

---

[Drawing 1]



---

[Translation done.]



## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 2003060211  
PUBLICATION DATE : 28-02-03

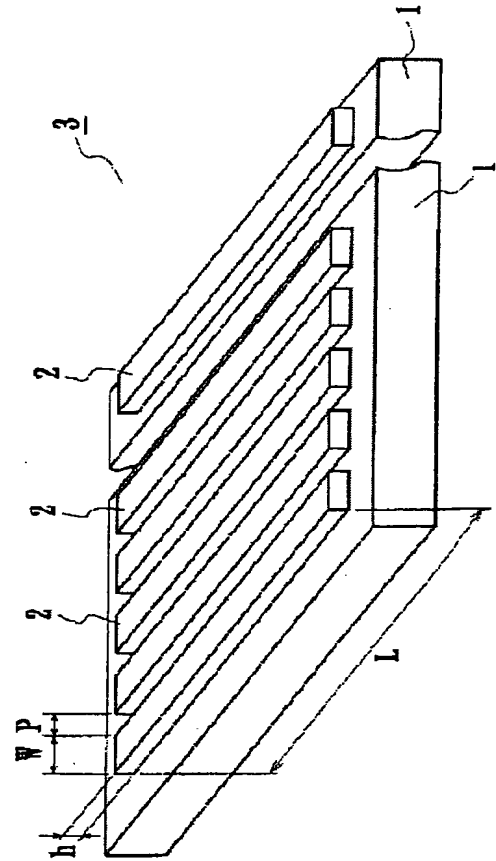
APPLICATION DATE : 28-08-01  
APPLICATION NUMBER : 2001257373

APPLICANT : HOKKAIDO UNIV;

INVENTOR : ONO HIROSHI;

INT.CL. : H01L 29/82 H01F 10/32 H01L 43/00

TITLE : SPIN DEVICE AND MANUFACTURING METHOD THEREFOR



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a new spin device which can also be put into practical use.

SOLUTION: A semiconductor substrate 1 is formed of a III-V compound semiconductor such as InAs, and ferromagnetic fine wires 2 of ferromagnetic transition metal such as Fe, preferably each being 0.2 to 3  $\mu\text{m}$  in width, 1 to 4,000  $\mu\text{m}$  in length, and 10 to 100 nm in height, are formed on the semiconductor substrate 1. Uniaxial magnetic anisotropy is made to be induced in the ferromagnetic fine wires 2.

COPYRIGHT: (C)2003,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2003-60211  
(P2003-60211A)

(43) 公開日 平成15年2月28日 (2003.2.28)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	データベース (参考)
H 0 1 L 29/82		H 0 1 L 29/82	Z 5 E 0 4 9
H 0 1 F 10/32		H 0 1 F 10/32	
H 0 1 L 43/00		H 0 1 L 43/00	

審査請求 有 請求項の数14 O L (全 5 頁)

(21) 出願番号 特願2001-257373 (P2001-257373)  
(22) 出願日 平成13年8月28日 (2001.8.28)  
(31) 優先権主張番号 特願2001-170707 (P2001-170707)  
(32) 優先日 平成13年6月6日 (2001.6.6)  
(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 391016973  
北海道大学長  
北海道札幌市北区北8条西5丁目8番地  
(72) 発明者 武笠 幸一  
北海道札幌市中央区南13条西5丁目1-1-901  
(72) 発明者 陽 宗治  
北海道札幌市北区あいの里2条6丁目3-3-1101  
(74) 代理人 100072051  
弁理士 杉村 興作 (外1名)

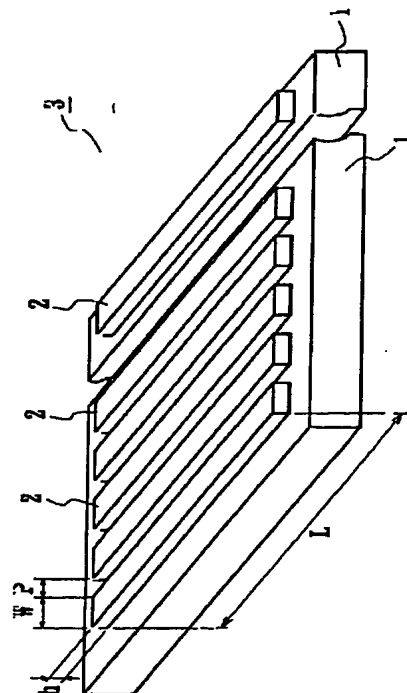
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 スピンデバイス及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 実用に供することのできる新規なスピンデバイスを提供する。

【解決手段】 InAsなどのIII-V族化合物半導体からなる半導体基板1上に、Feなどの強磁性遷移金属からなる強磁性細線2を、好ましくは幅0.2~3 $\mu$ m、長さ1~4000 $\mu$ m、高さ10~100nmに形成する。そして、強磁性細線2に一軸の磁気異方性を誘起させる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体基板と、この半導体基板上に形成された、一軸の磁気異方性を有する強磁性細線とを具備することを特徴とする、スピndeバイス。

【請求項2】 前記強磁性細線は単磁区構造を呈することを特徴とする、請求項1に記載のスピndeバイス。

【請求項3】 前記半導体基板と前記強磁性細線とは、オーミックコンタクトを形成することを特徴とする、請求項1又は2に記載のスピndeバイス。

【請求項4】 前記半導体基板は、III-V族化合物半導体から構成されることを特徴とする、請求項1〜3のいずれかに記載のスピndeバイス。

【請求項5】 前記半導体基板は、InAsから構成されることを特徴とする、請求項4に記載のスピndeバイス。

【請求項6】 前記強磁性細線は、強磁性遷移金属から構成されることを特徴とする、請求項1〜5のいずれかに記載のスピndeバイス。

【請求項7】 前記強磁性細線の幅が0.2〜3 $\mu$ mであることを特徴とする、請求項4〜6のいずれかに記載のスピndeバイス。

【請求項8】 前記強磁性細線の長さが1〜4000 $\mu$ mであることを特徴とする、請求項7に記載のスピndeバイス。

【請求項9】 前記強磁性細線の高さが10〜100nmであることを特徴とする、請求項7又は8に記載のスピndeバイス。

【請求項10】 複数の前記強磁性細線を具備するとともに、前記複数の強磁性細線間のピッチ幅が0.4〜6 $\mu$ mであることを特徴とする、請求項7〜9のいずれかに記載のスピndeバイス。

【請求項11】 前記強磁性細線において、キャップ層を具備することを特徴とする、請求項1〜10のいずれかに記載のスピndeバイス。

【請求項12】 半導体基板と、この半導体基板上に形成された、一軸の磁気異方性を有する強磁性細線とを具備するスピndeバイスの製造方法であって、前記半導体基板上に所定のマスクパターンを形成した後、このマスクパターンを介して強磁性薄膜を形成し、前記マスクパターンをリフトオフすることによって、前記強磁性薄膜から前記強磁性細線を形成することを特徴とする、スピndeバイスの製造方法。

【請求項13】 半導体基板と、この半導体基板上に形成された、一軸の磁気異方性を有する強磁性細線とを具備するスピndeバイスの製造方法であって、前記半導体基板上に強磁性薄膜を一樣に形成した後、この強磁性薄膜上に所定のマスクパターンを形成し、このマスクパターンを介して前記強磁性薄膜をミリング処理することによって、前記強磁性薄膜から前記強磁性細線を形成することを特徴とする、スピndeバイスの製造方

法。

【請求項14】 前記強磁性薄膜は、MBE法を用いて形成することを特徴とする、請求項12又は13に記載のスピndeバイスの製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、スピndeバイス及びその製造方法に関し、詳しくはスピndeメモリデバイス、スピントランジスタ、磁気センサ、及び光アイソレータなどに好適に用いることのできるスピndeバイス及びその製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】スピントランジスタやスピndeメモリデバイスなどの新規なスピndeバイスが提案されている。このスピndeバイスは、基本的には半導体基板上に強磁性薄膜が形成された構造を呈しており、前記強磁性体薄膜から前記半導体基板へスピン偏極した電子を注入し、そのスピン状態を利用して記憶あるいは増幅を行うものである。

【0003】現在、上述したスピndeバイスに関して種々の報告がなされているが、一様な磁化磁区を有する強磁性薄膜を得ることができないでいた。その結果、実際には半導体基板中にスピン偏極した電子を注入することができず、実用に供することのできるスピndeバイスを得ることができないでいた。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、実用に供することのできる新規なスピndeバイスを提供することを目的とする。

## 【0005】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成すべく、本発明は、半導体基板と、この半導体基板上に形成された、一軸の磁気異方性を有する強磁性細線とを具備することを特徴とする、スピndeバイスに関する。

【0006】また、本発明は、半導体基板と、この半導体基板上に形成された、一軸の磁気異方性を有する強磁性細線とを具備するスピndeバイスの製造方法であって、前記半導体基板上に所定のマスクパターンを形成した後、このマスクパターンを介して強磁性薄膜を形成し、前記マスクパターンをリフトオフすることによって、前記強磁性薄膜から前記強磁性細線を形成することを特徴とする、スピndeバイスの製造方法（第1の製造方法）に関する。

【0007】さらに、本発明は、半導体基板と、この半導体基板上に形成された、一軸の磁気異方性を有する強磁性細線とを具備するスピndeバイスの製造方法であって、前記半導体基板上に強磁性薄膜を一樣に形成した後、この強磁性薄膜上に所定のマスクパターンを形成し、このマスクパターンを介して前記強磁性薄膜をミリング処理することによって、前記強磁性薄膜から前記強

磁性細線を形成することを特徴とする、スピndeバイスの製造方法(第2の製造方法)に関する。

【0008】本発明者らは、実用に供することのできる新規なスピndeバイスを得るべく鋭意検討を行った。その結果、半導体基板上に、従来のような強磁性薄膜ではなく、上述した本発明の第1の製造方法あるいは第2の製造方法に従って、強磁性細線を所定の大きさに形成することにより、前記強磁性細線が一軸の磁気異方性を有するようになることを見出した。

【0009】したがって、前記強磁性細線から前記半導体基板へのスピndeバイスの電子注入を実際に行うことができるようになり、その結果、実用に供することのできるスピndeバイスの提供を可能としたものである。

【0010】

【発明の実施の形態】以下、本発明を発明の実施の形態に基づいて詳細に説明する。図1は、本発明のスピndeバイスの構成を概略的に示す斜視図である。なお、各部分の寸法及び強磁性細線の数などは、説明を容易にすべく実際のものとは異なるようにして記載している。

【0011】図1に示すスピndeバイス3は、半導体基板1と、この半導体基板1上に形成された複数の強磁性細線2とから構成されている。この強磁性細線2は、半導体基板1に対してスピndeバイスの電子注入を行なうべく、一軸異方性を有していることが必要である。また、強磁性細線2は、より規則的にスピndeバイスの電子注入すべく単磁区構造を有していることが好ましい。

【0012】また、半導体基板1と強磁性細線2とは、それらの接触面においてオーミックコンタクトを形成していることが好ましい。一般に半導体や金属などが接触して結合すると、その結合はショットキー結合となり、両者の界面においてショットキー障壁が生じるようになる。このようなショットキー障壁が形成された場合においては、たとえ一軸の磁気異方性を有する強磁性細線を半導体基板上に形成し、スピndeバイスの電子注入可能な状態にあったとしても、前記ショットキー障壁によって前記半導体基板への電子注入が困難になる場合があるからである。

【0013】本発明のスピndeバイスが上述したような特性を有する限りにおいて、半導体基板1及び強磁性細線2を構成する材料の種類は特に限定されない。しかしながら、半導体基板1は、III-V族化合物半導体から構成されることが好ましい。

【0014】このようなIII-V族化合物半導体から構成される半導体基板1上へは、以下に述べる本発明の製造方法の好ましい態様に従って、強磁性細線2を構成する強磁性薄膜をMBE法によって簡易にエピタキシャル成長させることができる。したがって、半導体基板1と強磁性細線2との界面における不純物や格子不整合などに起因したエネルギー準位の形成を防止し、強磁性細線2から半導体基板1への電子注入をより簡易に行うこと

ができる。

【0015】また、III-V族化合物半導体は大きなスピndeバイス軌道相互作用を有するために、スピndeバイス偏極した電子を注入した際において、前記電子のスピndeバイス偏極状態を良好に制御し、維持することができる。さらに、上述したように半導体基板1と強磁性細線2との間においてショットキー障壁が形成された場合においても、前記ショットキー障壁を介したトンネル効果が生じるため、強磁性細線2から半導体基板1への電子注入を簡易に行うことができる。

【0016】このようなIII-V族化合物半導体としては、GaAs、InAs、及びInGaAsを例示することができる。特に強磁性細線2との界面において余分な不純物に起因したエネルギー準位の形成を抑制することから、InAsが好ましい。

【0017】また、強磁性細線2は種々の強磁性体材料から構成することができるが、好ましくは、Fe、Co、Niなどの強磁性遷移金属から構成することが好ましい。これらの材料は室温において大きな磁化を有するため、スピndeバイス偏極した電子を多量に含有し、半導体基板中へスピndeバイス偏極した電子を多量に注入することができる。

【0018】半導体基板1を上述したIII-V族化合物半導体から構成し、強磁性細線2を上述した強磁性遷移金属から構成する場合においては、強磁性細線2の幅Wを0.2~3 $\mu$ m、好ましくは0.5~2 $\mu$ mに形成する。これによって、強磁性細線2中に一軸の磁気異方性を簡易に生じさせることができる。

【0019】また、強磁性細線2の幅Wを上述のように設定した場合において、強磁性細線の長さLは1~4000 $\mu$ mであることが好ましく、さらには2~20 $\mu$ mであることが好ましい。これによって、強磁性細線2中に一軸の磁気異方性をより簡易に形成することができる。

【0020】同様の理由から、強磁性細線2の高さhは10~100nmであることが好ましく、さらには30~50 $\mu$ mであることが好ましい。

【0021】半導体基板1を上述したIII-V族化合物半導体から構成し、強磁性細線2を上述した強磁性遷移金属から構成した場合において、強磁性細線2の形成条件及び大きさを適宜に調節することによって、強磁性細線2を単磁区構造とすることができるとともに、半導体基板1と強磁性細線2との間にオーミックコンタクトを形成することができる。

【0022】また、隣接する強磁性細線2からの干渉を防止して、強磁性細線2からの電子注入を実効あらしめるべく、強磁性細線2間のピッチ幅Pが0.4~6 $\mu$ mであることが好ましく、さらには1~4 $\mu$ mであることが好ましい。

【0023】図1に示すスピndeバイス3は、デバイス

として実効あらしめるべく、複数の強磁性細線2を有している。この場合、強磁性細線2の数は目的に応じて任意に制御させることができる。また、半導体基板1上において単一の強磁性細線を形成して構成することもできる。

【0024】また、強磁性細線2の酸化を防止すべく、この強磁性細線2上にキャップ層を設けることもできる。キャップ層は、例えば高い耐食性を有するAuなどから構成することができる。

【0025】半導体基板への強磁性細線の形成は、以下のようにして行う。第1の製造方法としては、半導体基板1上に、フォトリソグラフィの技術を用いて、形成すべき強磁性細線2に相当するパターンが形成されたマスクパターンを形成する。その後、前記マスクパターンを介して強磁性薄膜を形成し、前記マスクパターンをリフトオフすることによって、目的とする強磁性細線2を得るものである。

【0026】第2の製造方法としては、半導体基板1上に強磁性薄膜を一様に形成した後、前記強磁性薄膜上に、フォトリソグラフィの技術を用いて、形成すべき強磁性細線2に相当するパターンが形成されたマスクパターンを形成する。その後、前記マスクパターンを介して、例えばアルゴンイオンなどを用いたミリング処理を施し、前記強磁性薄膜の露出した部分をエッチング除去することによって、目的とする強磁性細線2を得るものである。

【0027】上記いずれの方法においても、強磁性細線2を作製するに際して強磁性薄膜の形成工程を必須の要件として含む。強磁性薄膜は、スパッタリング法や蒸着法などの公知の物理的な薄膜形成方法を用いて形成することができる。しかしながら、好ましくはMBE法を用いて、前記半導体基板1上にエピタキシャル成長させる。

【0028】この場合においては、上述したように、半導体基板1と強磁性細線2との間に不純物や格子不整合に起因した余分なエネルギー準位の形成が抑制されるために、強磁性細線2から半導体基板1への電子注入をより効率良く行うことができる。また、MBE法は超高真空状態で用いられるため、不純物などに起因したエネルギー準位の形成がより効果的に抑制される。なお、強磁性薄膜は、目的とする強磁性細線の高さに合わせて10～100nmの厚さに形成する。

【0029】さらに、キャップ層を設ける場合においては、上述した強磁性細線を形成した後、公知の成膜方法を用いて、前記強磁性細線を覆うようにして前記キャップ層を形成する。

【0030】

【実施例】本実施例においては、図1に示すように、半導体基板1上に複数の強磁性細線2が形成されたスピンドバイスを作製した。半導体基板1として(100)I

nAs基板を用い、この基板1上にFe薄膜を、MBE法を用いて温度23℃でエピタキシャル成長させることにより、厚さ30nmに形成した。なお、この時の初期真空度は $3 \times 10^{-8}$  Pa以下であり、エピタキシャル成長速度は0.3nm/分であった。

【0031】次いで、前記Fe薄膜上に、フォトリソグラフィの技術を用いて所定のマスクパターンを形成し、このマスクパターンを介して前記Fe薄膜の露出部分をアルゴンイオンを用いたミリング処理によってエッチング除去することにより、幅Wが2μmのFe強磁性細線2をピッチPが4μmとなるように複数形成した。次いで、Fe強磁性細線2の酸化を防止すべく、Auキャップ層を厚さ3nmに形成した。

【0032】このようにして得たFe強磁性細線2の磁気特性を調べたところ、 $\langle 001 \rangle$  (Fe強磁性細線2の長手方向)に磁化容易軸を有することが判明した。なお、磁化容易軸方向における保磁力は約100Oeであった。

【0033】また、Fe強磁性細線2と(100)InAs基板1との間に電圧を印加して、そのIV特性を調べたところ、電圧Vの増減につれて電流Iも比例的に増減し、Fe強磁性細線2から(100)InAs基板1に対してスピン偏極した電子注入が良好に行われていることが確認された。また、IV特性の測定温度依存性がほとんどないことから、Fe強磁性細線2と(100)InAs基板1の間にはショットキー障壁は形成されずに、良好なオーミックコンタクトが形成されていることが確認された。

【0034】以上、具体例を挙げながら発明の実施の形態に基づいて本発明を詳細に説明してきたが、本発明は上記内容に限定されるものではなく、本発明の範疇を逸脱しない限りにおいて、あらゆる変形や変更が可能である。

【0035】

【発明の効果】以上説明したように、本発明のスピンドバイスは、半導体基板1上において一軸の磁気異方性を有する強磁性細線2を具えるという全く新規な構成を取り、これによって、前記強磁性細線から前記半導体基板1へのスピン偏極した電子の実質的な注入を可能とするものである。したがって、本発明によれば、スピンドバイスやスピントランジスタなどの実用に供することのできるスピンドバイスを提供することができる。

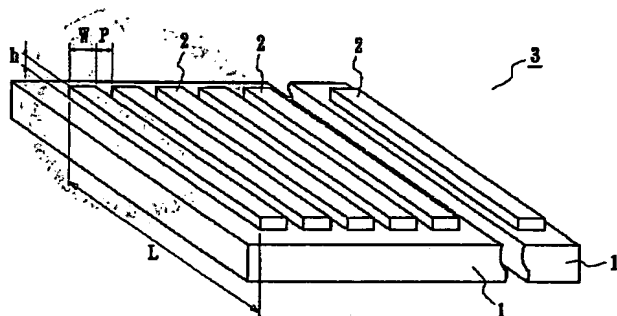
【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明のスピンドバイスの構成を概略的に示す斜視図である。

【符号の説明】

- 1 半導体基板
- 2 強磁性細線
- 3 スピンドバイス

【図1】



フロントページの続き

(72)発明者 末岡 和久  
北海道札幌市東区北35条東3丁目3-10-  
108

(72)発明者 大野 啓  
北海道札幌市北区北20条西2丁目21 ハー  
ベスト20 310号  
Fターム(参考) 5E049 AC05 CB01 CB06 DB02